



DEUTSCHES
PATENTAMT

Offenlegungsschrift

DE 44 37 361 A 1

51 Int. Cl.⁶:
H01L 21/324
F 27 B 17/00

21 Aktenzeichen: P 44 37 361.9
22 Anmeldetag: 19. 10. 94
43 Offenlegungstag: 25. 4. 96

Pg 2

DE 44 37 361 A 1

71 Anmelder:
AST Elektronik GmbH, 85551 Kirchheim, DE

72 Erfinder:
Kaltenbrunner, Günter, 85598 Baldham, DE; Knarr,
Thomas, 89129 Langenau, DE; Nenyai, Zsolt, Dr.,
89134 Blaustein, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren und Vorrichtung für Transiente Schnellheizprozesse

57 Die Erfindung ermöglicht die Schnellheizbehandlung empfindlicher strukturierter Bauelemente mit einer erheblichen Reduktion der strukturbedingten thermischen Inhomogenitäten. Ein Schnellheizprozeß wird mit der entsprechenden Vorrichtung so ausgeführt, daß die Aufheizrate der Scheibe in dem Temperaturbereich, wo die gewünschten thermisch bedingten Umwandlungen ablaufen, der Kinetik der Umwandlung angepaßt wird. Dazu wird die Schnellheizanlage so konstruiert, daß die Produktionsscheibe zwischen lichtabsorbierenden dünnen Platten aufgeheizt wird und in jedem Schritt des Rezeptes der Temperung die Temperatur-Zeit Funktion und/oder die Heizleistung-Zeit Funktion nach beliebigen selektierbaren vorprogrammierten mathematischer Funktion ausgeführt werden kann.

DE 44 37 361 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung für die schnelle thermische Behandlung empfindlicher elektronischer Bauelemente und dient der Reduktion der strukturbedingten thermischen Inhomogenitäten. Das Schnellheizverfahren ist eine sehr vielseitige optische Heizmethode. Es findet Einsatzmöglichkeiten vor allem auf dem Gebiet der Halbleitertechnologie. Als Heizquellen werden meistens Wolfram-Halogen- oder andere Lampen eingesetzt.

Schnellheizanlagen, welche auch als RTP-Anlagen bezeichnet werden ("Rapid Thermal Processing"-Anlagen), ermöglichen für verschiedene Materialbehandlungen kontrollierte, schlagartige Änderungen der Temperatur und der Spülgasatmosphäre. Durch diese Methode kann die thermische Gesamtbelastung einer Temperaturbehandlung reduziert werden.

Viele RTP-Anlagen bieten Möglichkeiten zur thermischen Behandlung unstrukturierter, homogener scheibenförmiger Materialien, z. B. Halbleiterscheiben an. Weisen solche Scheiben unterschiedliche Materialien oder Beschichtungen in einer glometrisch oder chemisch strukturierten Form auf, wie z. B. Prozeßscheiben in der Halbleitertechnologie, reagieren sie auf die schnelle radiative Heizung mit relativ großen strukturinduzierten thermischen Inhomogenitäten.

Wir beziehen uns hier auf unser früheres Patent: DE 42 23 133 C2 in dem wir eine Methode für die defektarme schnelle thermische Behandlung empfindlicher Bauelemente entwickelt haben. Die Anforderungen der "subhalbmikrometer" — integrierten Schaltungstechnologie sind seitdem sprunghaft größer geworden. Hier reicht die defektarme Schnellheizmethode nicht aus. Strukturbedingte thermische Inhomogenitäten müssen bis zur physikalisch möglichen Grenze reduziert werden.

Anlagenbedingte thermische Inhomogenitäten konnten in den letzten Jahren durch verschiedene Maßnahmen entsprechend der wachsenden Anforderungen reduziert werden. Diese Maßnahmen bestanden z. B. in der unabhängigen Kontrolle der einzelnen Lampen, der zirkularen Lampen-Anordnung, der von den Kontrollparametern unabhängigen Leistungskontrolle und der Rotation der Scheiben.

Bei der Reduktion der Struktureffekte gibt es mehr Schwierigkeiten. Geometrisch strukturierte optische Dünnschichten auf der Scheibenoberfläche können einen Teil der Strahlungsenergie zur konstruktiven oder destruktiven Interferenz führen und dadurch strukturbedingte Temperaturinhomogenitäten hervorrufen.

Eine geometrische oder chemische Strukturierung der verschiedenen, optisch nicht durchsichtigen Beschichtungen der Scheibe kann auch zu Temperatur-Inhomogenitäten führen, wenn sie in ihren Elektronenkonfigurationen große Unterschiede aufweisen, d. h. unterschiedlich absorbieren.

Diese Effekte werden beschrieben in "Rapid Thermal Annealing — Theory and Practise" C. Hill, S. Jones and D. Boys, NATO Summer School: Reduced Thermal Processing for ULSI, Boca Raton Florida, 20 June to 1 July 1988, sowie in "Impact of Patterned Layers on Temperature Non-Uniformity During Rapid Thermal Processing For VLSI-Applications", P. Vandenabeele, K. Maex, R. De Keersmaecker, 1989 Spring Meeting of the Materials Research Society, San Diego, Symposium B.: RTA/CVD and integrated processing, April 25 — 28, 1989 sowie in "Temperature Problems with Rapid Thermal

Processing for VLSI-Applications", Dr. R. Kakoschke, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, B 37/38 (1989) Seiten 753—759, sowie in "Defect-Guarded Rapid Thermal Processing", Z. Nenyai, H. Walk, T. Knarr, J. Electrochem. Soc., Vol. 140, Nr. 6, June (1993) Seiten 1728—1733.

Bekannte Methoden für die Reduktion der strukturbedingten thermischen Inhomogenitäten sind die unabhängige Kontrolle der Lampenleistung sowie die unabhängige Kontrolle der oberen und der unteren Lampenbänke bei der Anlagen, in denen die Scheiben gleichzeitig von oben und von unten geheizt werden können. Solche Methoden sind auch beschrieben in dem oben erwähnten Patent DE 42 23 133 C2 (US-PS 53 59 693).

Andere Patente, wie das EP 02 90 692 A1 von A. G. Associates, oder das US-PS 48 91 499 von Texas Instruments geben nur Vorschläge, die die thermische Homogenität der Gesamtscheibe zwar verbessern, die strukturbedingten Inhomogenitäten selbst aber nicht reduzieren.

Die Entstehung und Reduktion der Struktureffekte in Schnellheizsystemen scheint komplizierter zu sein, als es bisher in der entsprechenden Fachliteratur beschrieben. Darüberhinaus hat die Reduktion der Struktureffekte in konventionellen Schnellheizsystemen physikalische Grenzen.

Um schnelle Aufheizraten und eine hohe Substrattemperatur gewährleisten zu können, muß die Farbtemperatur der Lampen wesentlich größer sein als die einzustellende Scheibentemperatur. Zudem ist die genannte, emittierende Oberfläche der heißen Wolframspiralen der Lampen kleiner als die Oberfläche der Reflektoren der Heizkammer in der die Strahlung durch mehrfache Reflexionen verteilt wird.

Dadurch wird auch eine größere Lampenleistung, d. h. auch eine größere Farbtemperatur der Lampen benötigt. Ein Nachteil der bedeutend höheren Farbtemperatur der Lampen besteht darin, daß das Absorptionsspektrum und das Emissionsspektrum einer Halbleiterscheibe in der optischen Heizkammer nicht übereinstimmt. Da während der optischen Heizung der radiative Energietransfer dominiert, wird ein großes Offset zwischen den Absorptionsspektrum und dem Emissionsspektrum der Scheiben, bzw. der verschiedenen Strukturen auf der Scheibe, immer zu strukturbedingten thermischen Inhomogenitäten führen.

Identische vertikale Dünnschicht-Strukturen mit verschiedenen lateralen Abmessungen werden vor allem deshalb andere transiente Temperaturwerte aufweisen, weil die thermische Kapazität der direkten Umgebung von der Größe der Oberflächenstruktur abhängig ist.

So entstehen "passive" strukturbedingte thermische Inhomogenitäten, die in der Fachliteratur bekannt sind, bei kleineren Strukturen jedoch vernachlässigt werden.

Die chemischen Festkörperreaktionen (z. B. Silizid-Prozesse oder Oxidation) und die physikalischen Struktur-Umwandlungen (z. B. implant anneal) die in Verbindung mit den Schnellheizprozessen ablaufen, sind meistens exothermische Prozesse. Manche allotropischen Umwandlungen sind endotherm.

Diese Reaktionen sind entsprechend der Strukturierung lokalisiert. So entstehen "aktive" strukturinduzierte thermische Inhomogenitäten. Die lokale Temperatur wird zudem noch von der Geschwindigkeit der Festkörper-Umwandlung beeinflusst, die wiederum von der Strukturgröße abhängt. Über diese Effekte haben wir in der RTP-Literatur keine Hinweise gefunden.

Bei den konventionellen thermischen Prozessen, in

denen der konvektive (oder strahlungsaktive) Energie-Transfer dominiert, und in denen die Aufheizrate der Scheiben klein ($1-10^{\circ}\text{C}/\text{Minute}$) ist, können keine bedeutenden strukturbedingten thermische Inhomogenitäten auftreten, da hier genug Zeit zur Erholung vorhanden ist. Bei den herkömmlichen Schnellheizprozessen werden Aufheizraten von $10-100^{\circ}\text{C}/\text{s}$ gewählt. Ist die gewünschte Reaktionstemperatur erreicht, wird die Temperatur konstant gehalten ("steady state" Temperaturschrift). Multistep Temperungen werden ähnlich ausgeführt. Mit großer Sorgfalt wird darauf geachtet, daß Testprozesse mit unstrukturierten Scheiben während der ganzen Heizperiode eine homogene Temperaturverteilung ergeben. Es wird weniger darauf geachtet, wie stark die transiente Struktureffekte auftreten und wie sie reduziert werden können. Die thermischen Reaktionen, die bei den konventionellen Schnellheizprozessen ausgeführt werden, haben oft ihre größte Reaktionsgeschwindigkeit am Anfang des "steady state" Temperaturschritts. Innerhalb der nächsten $10-100$ s erreichen sie eine Sättigung. Gute Beispiele hierfür sind die Ti- oder Co-silizide Prozesse. Ein großer Teil der Reaktionswärme entwickelt sich in den ersten Sekunden. Unter solchen Bedingungen können lokale Temperaturunterschiede verstärkt werden. Festkörperreaktionen werden bei verschiedenen Strukturgrößen mit verschiedener Geschwindigkeit ablaufen und unter Umständen bei den kleinsten Strukturen nicht in gewünschtem Maß ablaufen.

Der Erfindung liegt dementsprechend die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur schnellen thermischen Behandlung empfindlicher Bauelemente, insbesondere von Bauelementen der Halbleiterindustrie bereitzustellen, mit welchem und mit welcher aktiven und passiven strukturbedingten thermischen Inhomogenitäten verringert werden können.

Die passiven strukturbedingten thermischen Inhomogenitäten werden laut der Erfindung grundsätzlich dadurch reduziert, daß in die Heizkammer unter und über die Scheibe je eine dünne, lichtabsorbierende Platte gelegt wird. Diese Platten sind mindestens so groß wie die Scheiben. Die einzelnen Produktionsscheiben werden immer nacheinander zwischen diesen Platten aufgeheizt. Die Platten arbeiten als "Licht-Transformator".

Die Strahlung der Lampen wird durch die Platten absorbiert, und die größere Farbtemperatur der Lampen wird auf eine kleinere Farbtemperatur der Platten umgesetzt, die gleichzeitig eine homogene Flächenemission gewährleistet. Die Platten sind in der Nähe der Scheibe in einer Entfernung von $1-10$ mm angebracht. Je kleiner diese Entfernung ist, desto stärker nähert sich die Aufheizrate der Produktionsscheibe an die Aufheizrate der Platten an. So wird der radiative primäre Energiefluß nicht nur auf kleinere Farbtemperaturen transformiert, sondern auch zum Teil in einen konvektiven Energietransport umgewandelt. Dadurch können die strahlungsbedingten strukturinduzierten Temperaturinhomogenitäten erheblich reduziert werden. Die Platten können z. B. aus Si, SiC, SiC beschichtetem Graphite oder aus BN hergestellt werden.

Das kleinere Volumen des Quarzreaktors, das für eine schnelle Kontrolle der Spülgasatmosphäre wichtig ist, und die Reinheitsvorteile der "Warmwand"-Reaktoren gegenüber der "Heißwand-Reaktoren" werden beibehalten.

Die Verwendung einer "Licht-Transformator"-Platte unter der Produktionsscheibe löst gleichzeitig das Problem der Temperaturkontrolle von rückseitenbeschich-

teten Scheiben. Ein monochromatisches Pyrometer läßt sich erfolgreich einsetzen. Je nach Empfindlichkeit der Strukturen oder Anforderung der Prozeßführung reicht es aus nur unter der Produktionsscheibe oder nur über der Produktionsscheibe eine Platte zu verwenden. Die Produktionsscheibe soll nicht mit der zusätzlichen Platte in Kontakt kommen. Die bekannte Substrat-Holder Platte, die im Kontakt mit der Scheibe verwendet wird, ist kein Gegenstand dieser Erfindung. Die Verwendung der "Licht-Transformator-Platten" ergeben bei kurzen Prozessen immer ein asymptotisches Erreichen der steady state Temperatur, das natürlich durch eine entsprechende Änderung des Heizprogrammes geändert werden kann. Die Prozeßführung ist in solchen Fällen ständig transient. Ein retardiertes Erreichen der steady state Temperatur oder noch besser ein an die gewünschte Festkörperreaktion angepaßte transienter Schnellheizprozeß ist immer wünschenswert, wenn strukturbedingte thermische Inhomogenitäten reduziert werden müssen. In solchen Fällen ist es vorteilhaft mit der relativ schnellen Aufheizrate kurz vor der Einsatztemperatur der Festkörperreaktion aufzuhören und den weiteren Temperatur- oder Heizleistungsverlauf an die gegebene Reaktionskinetik anzupassen.

Festkörperreaktionen sind meistens diffusionslimitierte Reaktionen. In solchen Fällen wird anstatt des ganzen steady state Prozeßschritts oder anstatt des ersten Teils des steady state Prozeßschritts z. B. ein $T=\sqrt{t}$ d. h. ein zur Quadratwurzel der Zeit proportionales Temperaturprofil programmiert. So geben wir bei Strukturen, bei denen die Reaktion wegen der größeren lokalen transienten Temperatur früher einsetzt schon dann Zeit zur Relaxation, wenn die Reaktionsgeschwindigkeit noch kleiner ist.

Die kontrollierte Scheibentemperatur erreicht ihren maximalen Wert nur dann, wenn die strukturbedingten lokalen transienten Temperaturunterschiede bereits teilweise abklingen. Dieser maximale Temperaturwert kann jetzt für eine kürzere Zeit größer werden, als er bei linearen Temperaturprofil und konstanten "steady state" gewählt werden könnte. Eine höhere Maximaltemperatur ist oft wichtig, um bei der kleinsten Strukturen die gewünschte Reaktion zu vervollständigen. Per Software ist es relativ einfach das Temperaturprofil oder das Heizleistungsprofil entsprechend einer gewünschten mathematischen Funktion zu programmieren. So können z. B. auch lineare, logarithmische, exponentielle, \sin^2 , oder andere Funktionen programmiert werden.

Das Verfahren eine programmierbare transiente Schnelltemperung mit oder ohne zusätzlichem "steady state" Temperaturschritt, kann sowohl mit, als auch ohne "Licht-Transformator" Platten eingesetzt werden. Diese Möglichkeiten dienen der Reduktion der strukturbedingten Prozeßinhomogenitäten bei Schnellheizverfahren. Je nach Sensitivität der Schaltkreise oder der Kapazitätsanforderungen der Anlage können sie einzeln oder in Kombination verwendet werden. Wichtig ist dabei, daß die Aufheizrate der Scheibe in dem Temperaturbereich, wo die gewünschten thermisch bedingten Umwandlungen ablaufen, d. h. im "aktiven" Temperaturbereich der Kinetik der Umwandlung angepaßt wird.

Die Produktionskapazität einer solchen Anlage kann u. U. auch dadurch erhöht werden, daß eine reduzierte Heizung der zusätzlichen Platten auch während der Handlungszeit aufrecht erhalten wird.

Die Schnellheizanlage ist im Sinne der Erfindung so zu konstruieren, daß in jedem Schritt des Rezeptes der

Temperung die Temperatur-Zeit Funktion und/oder die Heizleistung-Zeit Funktion nach beliebigen selektierbaren vorprogrammierten mathematischer Funktion ausgeführt werden kann.

Solche Temperatur-/Leistungsprofile können rezeptgesteuert (schrittweise Ablaufsteuerung) programmiert werden, u.z. als nichtlinearer Rampentyp. Dazu wird für jeden Rampentyp eine Tabelle geladen, die vorherberechnet wurde und deren Werte zur Laufzeit interpoliert werden. Damit können Prozeßvariablen in beliebigen vordefinierten Kurvenverläufen verändert werden, so daß Temperaturprozesse ermöglicht werden, die mit linear vorgegebenem Stellwert nicht oder nur sehr umständlich erzeugt werden können.

In Fig. 1 ist ein Beispiel für den Einsatz von "Licht-Transformator" Platten angegeben. Die Platten sind vorzugsweise größer als die Produktionsscheibe. So ist für die Scheiben-Positionierung eine wesentlich größere Toleranz zu erlauben. Es ist aber darauf zu achten, daß die vertikale (lokale) Wärmekapazität der ganzen Anordnung überall gleich ist. So ist um die Scheibe ein Schutzring einzusetzen. Dicke und Material des Rings sind an die Produktionsscheibe anzupassen. Ein Abstand von 3 mm zwischen dem Rand der Produktionsscheibe und dem inneren Perimeter des Ringes ist angemessen. In Fig. 1 ist mit "A" die Produktionsscheibe (Halbleiterscheibe) bezeichnet. "B" ist die untere "Licht-Transformator" Platte, z. B. aus Silizium oder aus Siliziumkarbid. Der Abstand zwischen der Produktionsscheibe und der unteren Platte ist z. B. 5 mm, um ein einfaches Handling der Scheibe gewährleisten zu können. "C" ist die obere "Licht-Transformator" Platte, hergestellt aus Si oder SiC. "D" ist ein Schutzring aus Si für die Kompensation des größeren Energieverlustes am Randgebiet der Produktionsscheibe. "E" ist ein Trägerrahmen aus Quarz. "F" ist der Quarzreaktor. "G" sind die Lampen für die Heizung. "H" ist die hochreflektierende Heizkammer mit Löcher für eine Preßluftkühlung. I ist die Tür des Reactors.

In Fig. 2 wird mit Kurve "A" der zeitliche Verlauf der tatsächlichen Temperaturwerte der Produktionsscheibe gezeigt, wenn sie zwischen den Platten getempert wird. Kurve "B" zeigt den kontrollierten Temperaturverlauf der unteren Platte.

In Fig. 3 ist der zeitliche Temperaturverlauf einer Produktionsscheibe dargestellt, die mit oder ohne zusätzliche Platten, aber mit programmierten transienten Schnellheizverfahren getempert wird. Die Kurve zeigt die qualitative Darstellung eines $TiSi_2$ -Prozesses. Linie AB ist die Vorheizung mit beliebiger Heizrate. Linie BC ist eine Vorstabilisierung bei der Einsatztemperatur der Festkörperreaktion (hier etwa 600°C). CD zeigt den aktiven Bereich der Schnellheiztemperung. Hier wird die Temperatur von 600°C bis 720°C einer \sqrt{t} Funktion entsprechend erhöht, z. B. in einer Zeitspanne von 30 s. DE ist eine kurze "steady state" Temperatur. EF ist eine kontrolliert Abkühlung z. B. entsprechend der Cosinus Funktion für 10 s bis 650°C. Hier wird die Heizung ausgeschaltet.

Die Erfindung ermöglicht somit die Schnellheizbehandlung empfindlicher strukturierter Bauelemente mit einer erheblichen Reduktion der strukturbedingten thermischen Inhomogenitäten. Ein Schnellheizprozeß wird mit der entsprechenden Vorrichtung so ausgeführt, daß die Aufheizrate der Scheibe in dem Temperaturbereich, wo die gewünschten thermisch bedingten Umwandlungen ablaufen, der Kinetik der Umwandlung angepaßt wird. Dazu wird die Schnellheizanlage so kon-

struiert, daß die Produktionsscheibe zwischen lichtabsorbierenden dünnen Platten aufgeheizt wird und in jedem Schritt des Rezeptes der Temperung die Temperatur-Zeit Funktion und/oder die Heizleistung-Zeit Funktion nach beliebigen selektierbaren vorprogrammierten mathematischer Funktion ausgeführt werden kann.

Patentansprüche

1. Verfahren für die optische Schnellheizbehandlung empfindlicher Bauelemente dadurch gekennzeichnet, daß die Produktionsscheibe in der optischen Schnellheizanlage zwischen zwei dünnen lichtabsorbierenden Platten getempert wird und in dem aktiven Temperaturbereich der Behandlung eine dem Kinetik der gewünschten thermischen Umwandlung angepaßte transiente Heizung programmiert wird.
2. Verfahren für die optische Schnellheizbehandlung empfindlicher Bauelemente dadurch gekennzeichnet, daß entweder unter oder über der Produktionsscheibe in einem Abstand von 1—10 mm eine lichtabsorbierende Platte verwendet wird.
3. Verfahren für die optische Schnellheizbehandlung empfindlicher Bauelemente dadurch gekennzeichnet, daß mittels beliebig programmierbarer transienter geregelter Temperatur- oder Leistungskurven eine Heizwirkung erreicht wird, die der Kinetik der gewünschten thermischen Umwandlung von empfindlichen Bauelementen angepaßt wird.
4. Vorrichtung für die optische Schnellheizbehandlung empfindlicher Bauelemente dadurch gekennzeichnet, daß die Produktionsscheibe in der optischen Schnellheizanlage zwischen zwei dünnen lichtabsorbierenden Platten getempert wird und in dem aktiven Temperaturbereich der Behandlung eine dem Kinetik der gewünschten thermischen Umwandlung angepaßte transiente Heizung programmiert wird.
5. Vorrichtung für die optische Schnellheizbehandlung empfindlicher Bauelemente dadurch gekennzeichnet, daß entweder unter oder über der Produktionsscheibe in einem Abstand von 1—10 mm eine lichtabsorbierende Platte verwendet wird.
6. Vorrichtung für die optische Schnellheizbehandlung empfindlicher Bauelemente dadurch gekennzeichnet, daß mittels beliebig programmierbarer transienter geregelter Temperatur- oder Leistungskurven eine Heizwirkung erreicht wird, die der Kinetik der gewünschten thermischen Umwandlung von empfindlichen Bauelementen angepaßt wird.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

THIS PAGE BLANK (USPTO)

Fig.1: Anordnung der Produktionsscheibe und der
Licht-Transformatorplatte in einem Schnellheizreaktor

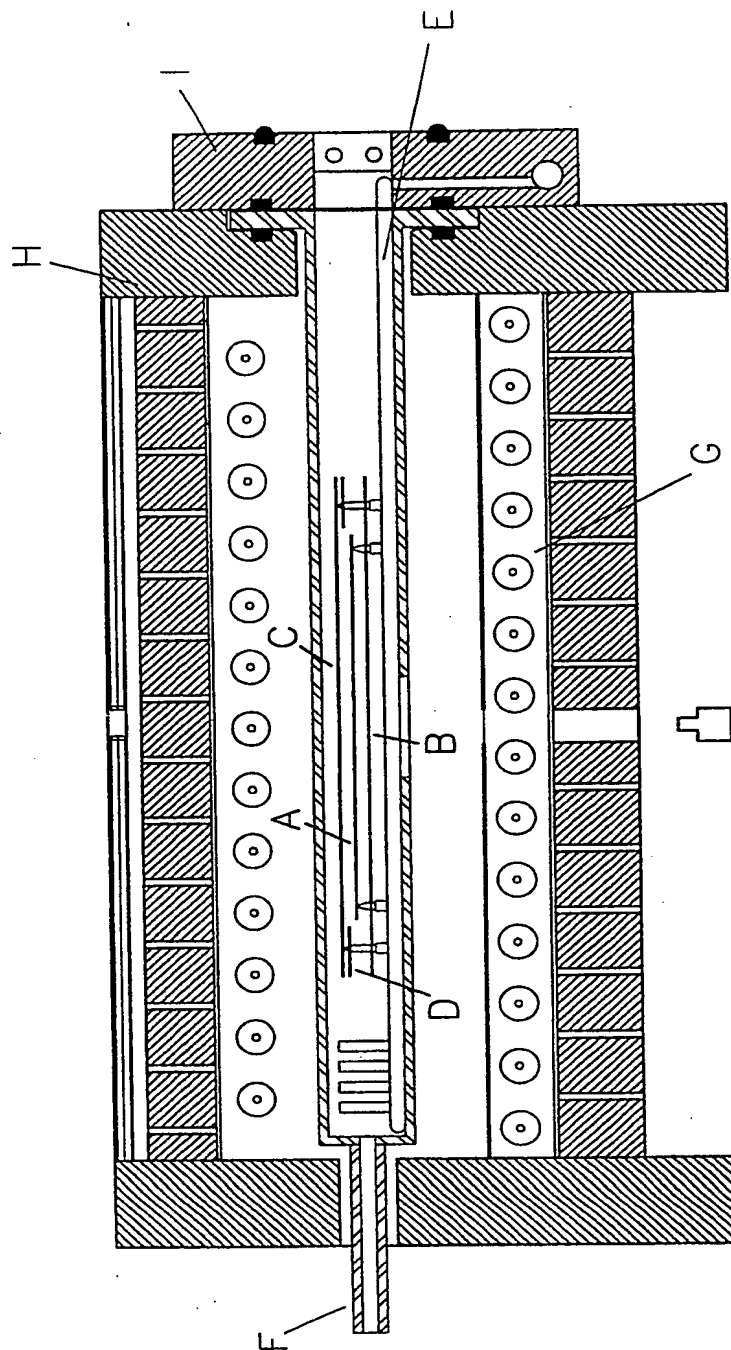


Fig.2: Temperaturzeitverlauf einer Produktionsscheibe (A)
und der unteren Licht-Transformator Platte (B)

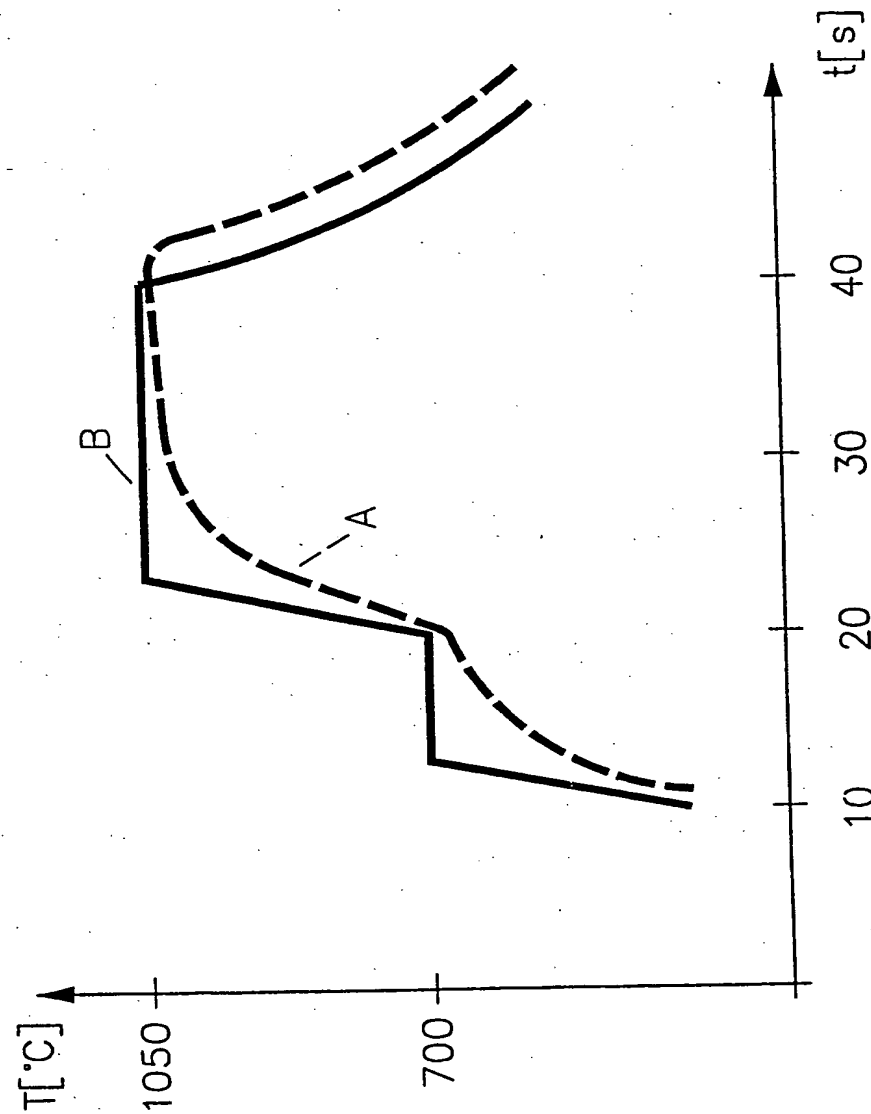


Fig.3: Transientes Temperaturverlauf Programm
für die Schnellheiztemperung einer Produktionsscheibe

